

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

„The use of tantalum shells and augments in revision total hip arthroplasty for acetabular defect reconstruction – a ten-year follow-up study“

„Die Verwendung von Tantal Pfannen und Augmenten zur azetabulären Defektrekonstruktion in der Hüftrevisionsendoprothetik – eine 10-Jahres Follow-up Studie“

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Jannis Löchel

aus Marburg

Datum der Promotion: 06.03.2020

## Inhaltsverzeichnis

Abstrakt (Deutsch) .....	1
Abstrakt (Englisch) .....	3
Manteltext .....	4
Literaturverzeichnis .....	19
Eidesstattliche Versicherung .....	22
Anteilerklärung der Publikation .....	23
Journal Summary List (ISI Web of Knowledge) .....	24
Publikation .....	25
Curriculum vitae .....	31
Publikationsliste .....	33
Danksagung .....	34

## Abstrakt (Deutsch)

Die Rekonstruktion knöcherner azetabulärer Defekte gehört zu den wesentlichen Herausforderungen der Revisionsendoprothetik. Dies ist Voraussetzung zur Erlangung einer Dreipunkt-Abstützung des Revisionsimplantats sowie zur Rekonstruktion des nativen Drehzentrums des Gelenks. In der Vergangenheit kamen hierzu unterschiedliche Verfahren zu Anwendung. Diese richteten sich vor allem nach dem zu überbrückenden Knochendefekt. Die Versorgung umschriebener Knochendefekte kann zumeist mit einer Revisionspfanne, welche die Dimensionen des Knochendefekts überbrückt, erfolgen. Die Entstehung ovaler azetabulärer Knochendefekte ist ein häufig beobachtetes Phänomen.

Die alleinige Verwendung einer Revisionspfanne bei größeren ovalen Defekten führt zu einer Abnahme der Kontaktfläche zwischen Wirtsknochen und Implantat und somit zu einer unzureichenden Primärstabilität und in der Folge Implantatversagen. Die Entwicklung von „Trabekular Metal“ Augmenten erlaubt die Umwandlung ovaler in hemisphärische Defekte und somit die Abstützung einer hemisphärischen Revisionspfanne. Die Oberflächenbeschaffenheit dieser Tantalimplantate ist hochporös und ähnelt bezüglich des Elastizitätskoeffizienten dem des menschlichen Knochens. Diese Eigenschaften vermitteln eine hohe Primärstabilität und die Fähigkeit zur knöchernen Integration des Implantats. Gute mittelfristige klinische und radiologische Ergebnisse nach der Verwendung einer solchen Implantatkombination konnten in der Literatur gezeigt werden.

Ziel der Studie war es, das Langzeit-Implantatüberleben, klinische und radiologische Outcomeparameter sowie die Rate an Implantatversagen zu untersuchen.

In die Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, welche sich in den Jahren 2006 bis 2010 einer Revisionsoperation aufgrund eines azetabulären Implantatversagens in unserer Klinik unterziehen mussten und bei denen eine Kombination von Trabekular Metal Pfanne und Augment verwendet worden war. Das individuelle funktionelle und radiologische Outcome wurde anhand von validierten Scores erhoben und ausgewertet. Die azetabulären Knochendefekte wurden klassifiziert und radiologische Parameter für die ossäre Implantatintegration erhoben. Die radiologische Klassifikation der Defekte wurde anhand der dokumentierten intraoperativen Knochendefekte verifiziert. Im Falle eines Implantatversagens der Revisionsoperation wurde eine detaillierte Versagensanalyse durchgeführt.

In der Studie konnte ein sehr gutes revisionsfreies Langzeit-Implantatüberleben nachgewiesen werden. Die Funktionsscores zeigten ein signifikant und andauernd verbessertes postoperatives Outcome.

Implantatversagen konnte bei Patienten mit unzureichender Schraubenfixation der Pfanne und Patienten mit additiver Beckendiskontinuität beobachtet werden. Patienten mit Beckendiskontinuität sollten daher anderen Revisionsstrategien zugeführt werden.

## Abstrakt (Englisch)

In the field of revision total hip arthroplasty, the reconstruction of acetabular bone defects is a remaining challenge. Achieving three-point support of the implant for secure fixation while bridging the bony defect as well as the restoration of the native center of rotation of the hip are among the most relevant concerns.

In the past decades, different revision strategies have been performed. Small bone defects mostly allow the stand-alone use of a revision shell. In greater, oval acetabular defects the stand alone use of a revision shell can lead to decreased implant and host-bone contact, poor primary stability and thus to implant failure. "Trabecular Metal" augments can help to transform oval defects into hemispherical defects and thereupon allow the use of hemispherical revision shells. Their porous implant surface procures a high friction coefficient and therefore high primary stability. Material elasticity of tantalum and a material structure comparable to human bone provide the capacity of osseointegration of the implant.

The aim of this study was to assess the long-term implant survivorship, radiological and clinical outcomes as well as complication rates after acetabular revision with a Trabecular Metal shell and augment.

We reviewed the results of patients who had undergone revision surgery because of acetabular component failure between 2006 and 2010 in our clinic using a combination of a Trabecular Metal augment and shell at the revision surgery.

To evaluate the individual outcome, functional and radiological scores were obtained for each patient. The acetabular bone defect was classified based on the radiographic examination and the documented intraoperative findings. The component ingrowth during the follow-up period was assessed. In case of failure of the revision surgery a detailed failure analysis was conducted.

The results showed excellent long-term revision-free implant survivorship and significant increased functional outcome parameters.

Implant failures occurred in patients with additional pelvic discontinuity and insufficient screw fixation of the shell during the revision surgery.

According to the results of the study, the use of Trabecular Metal shells and augments is a reliable revision strategy for patients with large oval acetabular bone defects. Patients with pelvic discontinuity should be supplied to other revision strategies. Screw fixation of the shell should be performed in every case.

## Manteltext

### 1 Einleitung

Degenerative Prozesse des Bewegungsapparates stellen einen Großteil der für chronische Schmerzen verantwortlichen Erkrankungen dar [1]. Voranschreitende arthrotische Veränderungen der großen Gelenke können mit eingeschränkter Lebensqualität und dem Verlust von Mobilität und Selbstständigkeit im Alltag vergesellschaftet sein. In den vergangenen Jahrzehnten zeigten sich stetig wachsende Zahlen des endoprothetischen Gelenkersatzes [2]. Nach Angaben des statistischen Bundesamtes stellte die Primärimplantation einer Hüftgelenksendoprothese im Jahr 2016 mit 233.242 stationär durchgeführten Prozeduren den sechsthäufigsten Eingriff dar. Angesichts der steigenden Prävalenz an Patienten mit primärem endoprothetischem Gelenkersatz sowie einer alternden Bevölkerung ist in Zukunft ebenfalls mit einer steigenden Anzahl an Revisionsoperationen zu rechnen [2].

Eine befundadaptierte Versorgung im Rahmen von Wechseloperationen am endoprothetisch ersetzten Hüftgelenk ist vor diesem Hintergrund ein wichtiges Ziel der klinischen orthopädischen Versorgung. Diese kann jedoch nur gelingen, wenn ihr ein evidenzbasiertes und aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen entsprechendes Vorgehen zugrunde gelegt wird. Es bestehen diverse Versorgungsmöglichkeiten, welche im Rahmen der Revisionsoperation in Betracht gezogen werden können. Sie richten sich unter anderem nach dem präoperativ identifizierten Versagensgrund der in situ befindlichen Endoprothese, nach einem möglicherweise vorliegenden knöchernen Defekt und nach den operativen und apparativen Gegebenheiten des versorgenden Krankenhauses und des Operateurs. Um sichere und mit einem guten Patientenoutcome verbundene Revisionsstrategien identifizieren zu können, ist eine minutiöse Analyse des Revisionsergebnisses im Langzeit Follow-up erforderlich.

### 2 Revisionsendoprothetik

#### 2.1 Grundsätze

Die häufigste Indikation zur Wechseloperation einer Hüftgelenksendoprothese ist eine aseptische Lockerung der Komponenten [3]. Durch Voroperationen, insbesondere eine vorangegangene Explantation von Komponenten sowie durch ein möglicherweise über einen längeren Zeitraum gelockertes und migriertes Implantat, können periprothetische knöcherne Defekte entstehen. De-

Defekte der Knochensubstanz können neben vorangegangenen Operationen und Implantatbewegung auch durch Abriebreaktionen hervorgerufen werden. Der Verschleiß der Gleitpaarung der Endoprothese, welche regelhaft aus einem Polyethylen Inlay und einem Keramik- oder Metallkopf besteht, führt zur Entstehung von Abriebpartikeln, welche sich im Gelenk ablagern. Diese vom Immunsystem des Prothesenträgers als Fremdmaterial erkannten Partikel führen zunächst über die Aktivierung von Makrophagen zur unspezifischen Rekrutierung des angeborenen Immunsystems. Im Verlauf kann es zu einer spezifischeren Immunantwort kommen. Ungeachtet der Art der Abriebkomplexe und deren Größe geht die Aktivierung von Makrophagen mit der Ausschüttung von Zytokinen einher, welche wiederum die Aktivierung osteoklastischer Zellen bewirken [4]. Die Verwendung hochvernetzter Polyethylen Inlays (zumeist in Verbindung mit einem Kopf aus Keramik) hat im Vergleich mit den nicht quervernetzten Kunststoffen in den vergangenen Jahren zu einer signifikanten Reduktion des Abriebs und dadurch zu niedrigeren Revisionsraten geführt [5]. Neben der Beschaffenheit der verwendeten Materialien ist eine akkurate Positionierung der Implantate ebenso bedeutsam. So konnte in der Literatur gezeigt werden, dass ein Implantat-Implantat Kontakt, welcher auch in der deutschsprachigen Literatur als Impingement (aus dem Englischen ‚to impinge‘, zu Deutsch ‚auftreffen‘ oder ‚treffen‘) bezeichnet wird, mit signifikant höherem Abrieb des Materials und schlussendlich mit höheren Versagens- und Revisionsraten verbunden ist [6]. Neben einer exakten Positionierung der Prothesenteile ist eine technisch einwandfreie Implantation auch für das Zusammenspiel der in situ befindlichen Komponenten relevant. Eine unzureichende Impaktierung des Kopfes der Prothese gegen den Konus des Schaftes kann zu Mikro- oder gar Rotationsbewegungen des Kopfes auf dem Konus und somit ebenso zur Entstehung großer Mengen an Abriebpartikeln führen. Galvanische Korrosionsprozesse sind bei Wahl der Implantate und deren Kombination in Anbetracht der Entstehung von Abriebpartikeln ebenso zu berücksichtigen [7].

Neben durch Abrieb bedingtem Knochenverlust können periimplantäre Osteolysen ebenso durch Osteonekrosen, welche durch die exothermische Reaktion im Rahmen des Polymerisationsprozesses bei der Verwendung von Polymethylmethacrylat Knochenzement (PMMA) hervorgerufen werden, entstehen [8]. Die Verwendung von kleinen Volumina PMMA kann dies verhindern.

Periprothetische Knochendefekte betreffen sowohl das Azetabulum als auch das Femur.

Der Identifikation der Ursache des Implantatversagens der in situ befindlichen Endoprothese vor einer möglichen Revisionsoperation kommt eine relevante Bedeutung zu. Neben einer standardisierten klinischen und radiologischen Untersuchung sollte die präoperative Diagnostik auch die Durchführung einer standardisierten Infektdiagnostik beinhalten. Hierzu zählen die laborchemische Bestimmung der Leukozyten und des C-reaktiven Proteins. Des Weiteren sollte eine steril

durchgeführte Punktion des betroffenen Hüftgelenks erfolgen. Das so gewonnene Untersuchungsmaterial wird zur laborchemischen (Bestimmung der Zellzahl) und mikrobiologischen (14 tägige Bebrütung in aerobem und anaerobem Milieu) Untersuchung verwendet.

In Zusammenschau der erhobenen Befunde sollte in Abhängigkeit eines möglicherweise erfolgten Erregernachweises ein ein- oder mehrzeitiges operatives Vorgehen gewählt werden [9].

## 2.2 Herausforderungen der Revisionsoperation

Das Erreichen von Primärstabilität der Komponenten, die Überbrückung ossärer Defekte zum Erlangen einer Drei-Punkt-Abstützung sowie die Wiederherstellung des nativen Rotationszentrums des Hüftgelenks stellen maßgebliche operative Herausforderungen der Revisionsoperation dar [10].

Es existieren unterschiedliche knöcherne azetabuläre Defektmorphologien. Dies ist unter anderem durch unterschiedliche Entstehungsursachen erklärbar. Neben periprothetischen Frakturen und Implantatbrüchen sind dies vor allem die bereits zuvor angesprochenen periprothetische Osteolysen und Knochendefekte. Der erhöhte Schwierigkeitsgrad der Revisionsoperation ergibt sich jedoch nicht nur aus den ossären periimplantären Gegebenheiten. Hinzu kommt die Tatsache, dass die von einer Revisionsoperation betroffenen Patienten zumeist älter sind, als dies bei der Primärimplantation der Fall ist. Damit gehen regelhaft eine größere Anzahl an relevanten Komorbiditäten einher.

Ebenso besteht die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Weichteilverhältnisse und des Muskelstatus. Die vorangegangenen chirurgischen Traumata bedingen vielfach muskuläre Defizite und gehen somit mit einer eingeschränkten postoperativen Funktion und einer erhöhten Komplikationsrate, welche unter anderem ein höheres Luxationsrisiko beinhaltet, einher [11]. Der Nachweis und die sich anschließende Behandlung einer periprothetischen Infektion stellen ebenso bedeutende Aspekte der Revisionsendoprothetik dar.

## 2.3 Revisionsstrategien

Im Falle einer Lockerung der azetabulären Komponente oder Komponenten ist die Entstehung von ovalen Defekten der knöchernen Hüftgelenkspfanne ein häufig beobachtetes Phänomen. Umschriebene Knochendefekte erlauben zumeist die Verwendung von Revisionsimplantaten ohne zusätzliche Abstützung der Pfanne [12]. Um größere ovale Defekte versorgen zu können, wurden in der Vergangenheit verschiedene Revisionsstrategien verfolgt. Den meisten Revisionsstrategien



ist das Ziel gemein, durch die Auffüllung des knöchernen Defektes eine bestmögliche Abstützung des Revisionsimplantates zu erreichen.

Zu den genannten Revisionsstrategien zählen die Verwendung von strukturierten Allografts (welche in aller Regel aus großen Knochenteilen des Femur wie zum Beispiel des Femurschafts oder Hüftköpfen gewonnen werden) in Verbindung mit einer zementierten Revisionspfanne [13]. Ebenso wurden strukturierte Allografts mit Stützringen kombiniert [14]. Ein zu nennender Vorteil bei der Verwendung von Stützringen ist sicherlich eine durch die multiple Schraubenfixation und Einbringen einer Lasche in das Sitzbein gut zu erreichende Primärstabilität. Als relevanter Nachteil ist die begrenzte Möglichkeit zur knöchernen Integration dieses Implantats zu nennen.

Sofern sich durch den azetabulären Defekt eine Kranialisierung des Drehzentrums ergeben hat, beinhaltet eine mögliche Revisionsstrategie dieses als neues Drehzentrum des Hüftgelenks zu wählen und eine Revisionspfanne in dem so entstandenen knöchernen Lager zu implantieren [15]. Die Implantation von übergroßen Pfannen, welche in der englischsprachigen Literatur als „Jumbo cups“ bezeichnet werden, gehört ebenso zu den Revisionsoptionen [16]. Ovale Pfannen zählen ebenso zu den zur Verfügung stehenden Optionen wie sogenannte Cup-Cage Konstruktionen [17]. Diese aufwändige und kostenintensive Kombination von Implantaten besteht aus zwei der bereits angesprochenen Implantattypen und nutzt die jeweiligen Vorteile der einzelnen Implantate. Nach Optimierung des Implantatlagers wird in eine Trabecular Metal (TM) Revisionspfanne ein Stützring eingesetzt und verschraubt. Eine Pfanne wird sodann in den Stützring einzementiert. Bei der Wahl der in den Stützring eingebrachten Pfanne stehen wiederum mehrere Implantate zur Verfügung. Neben aus Polyethylen bestehenden Pfannen können ebenso besonders luxationssichere, sogenannte tripolare Pfannen verwendet werden, sofern dies erforderlich erscheinen sollte. Der multipel verschraubte Stützring vermittelt eine hohe primäre Stabilität. Die TM Revisionspfanne besitzt ein hohes Potenzial zur knöchernen Integration und vermittelt somit nach Einwachsen in den Wirtsknochen eine hohe sekundäre Stabilität des Implantats [18].

## 2.4 Verwendung von Trabekular Metal™ Implantaten

Verschiedene Materialien kamen in der Vergangenheit bei der Rekonstruktion von Knochendefekten in der Revisionsendoprothetik zum Einsatz. Während bei autologem oder allogenen Material das Risiko der Resorption des Grafts im Laufe der Zeit besteht, gilt es bei metallischen Implantaten andere Eigenschaften des Materials zu berücksichtigen. Stabilität, Elastizität sowie Biokompatibilität gehören unter anderem zu den relevanten Materialeigenschaften. Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Patientenkohorte wurde ausschließlich mit azetabulären Implantaten aus Tantal versorgt. Hierbei handelt es sich um ein Übergangsmetall oder auch Übergangselement genannt,

welches mit der Ordnungszahl 73 im Periodensystem geführt wird. Da Tantal ein unedles Metall ist, ist es Oxidationsprozessen unterworfen. Dies führt dazu, dass es bei Raumtemperatur von einer Schicht aus Tantaloxid umgeben ist. Damit ist es, bei Raumtemperatur, als inertes oder passiviertes Metall zu betrachten. Chemische Reaktionen mit Tantal können in aller Regel erst ab Temperaturen von in etwa 300° Celsius stattfinden, zudem ist es nicht gewebetoxisch. Dies macht Tantal zu einem biokompatiblen Material, da insbesondere der Kontakt mit Körperflüssigkeiten keine chemische Reaktion im Sinne einer Korrosion des Materials initiieren kann [19]. Zudem weist das duktile Tantal gegenüber den zumeist verwendeten Implantaten aus Titan und weiteren Metalllegierungen einige biomechanische Vorteile auf und findet seit etwas mehr als 20 Jahren klinische Anwendung. Die poröse Oberflächenbeschaffenheit vermittelt einen hohen Reibungskoeffizienten, hierdurch ergibt sich eine hohe Primärstabilität, welche vor allem die Stabilität gegenüber Rotationskräften des Implantats betrifft. Tantal besitzt eine dem menschlichen Knochen ähnliche Elastizität [20]. Ebenso ähnelt die trabekuläre Struktur der körpereigenen Knochenstruktur der Substantia spongiosa, wodurch ein Einwachsen des Wirtsknochens in das Implantat ermöglicht wird [21]. Daraus ergibt sich eine feste Osteointegration und somit, im besten Fall, eine langanhaltende Stabilität des Implantats. Tantalimplantate finden sowohl in der Zahnimplantologie, als auch in der Knie- und Hüftgelenksendoprothetik Anwendung.

Vielversprechende mittel- bis langfristige Ergebnisse konnten mit der Verwendung von TM Pfannen in Verbindung mit TM Augmenten (Trabecular Metal Acetabular Revision System (TMARS); Zimmer Biomet, Warsaw, Indiana), erreicht werden [22, 23]. Die Verwendung solcher Augmente (mit dem lateinischen Ursprung ‚augmentum‘, zu Deutsch Vermehrung, Zunahme), erlaubt die Umwandlung von ovalen in hemisphärische Defekte. Aufgrund ihres Aussehens und ihrer dadurch erfüllten Funktion wird diese Art des Implantats nach dem englischen Terminus ‚wedge‘, zu Deutsch ‚Keil‘ auch in der deutschsprachigen Fachliteratur als Wedge bezeichnet. Der Vorteil der Auffüllung eines ovalen Defektes ist die sodann gegebene Möglichkeit eine reguläre hemisphärische Pfanne verwenden zu können.

### 3 Studienziel

Das Ziel der Studie war es das Langzeit-Outcome der im Rahmen einer Revisionsoperation an unserer Klinik mit einer Kombination aus TM Pfanne und Augment versorgten Patienten zu untersuchen. Hierzu untersuchten wir die allgemeine Revisionsrate, die Revisionsrate aufgrund aseptischer Lockerung, die radiologische Osteointegration der Implantate und das klinische Outcome im

mittleren 10-Jahres Follow-up. Das Implantatüberleben wurde als Ausbleiben jeglicher weiteren Revisionsoperation definiert.

#### 4.1 Methodik

Bei der vorliegenden Arbeit handelt sich um eine klinische, retrospektive Studie. Es erfolgte die Identifikation der entsprechenden Patienten und eine systematische Auswertung unserer prospektiv geführten, klinikeigenen Datenbank. Ebenso führten wir eine Auswertung des von der Klinik genutzten Dokumentationssystems (SAP, Walldorf, Deutschland) durch. Alle analogen Patientenakten wurden aus dem Archiv zu Rate gezogen und aufgearbeitet. Diese umfassten die präoperativ erhobenen Daten und Funktionsklassifikation ebenso wie Operationsberichte und Akten zur Verlaufsdokumentation in der Hochschulambulanz.

Zwischen 2006 und 2010 führten wir in 62 Fällen bei 60 Patienten eine Revisionsoperation unter der Verwendung einer TM Pfanne und eines Augments durch. Vier Patienten waren lost to Follow-up und konnten nicht nachverfolgt werden. Fünf Patienten verstarben im Laufe des Follow-up ohne, dass zuvor eine erneute Revisionsoperation durchgeführt werden musste. Somit konnten 53 Hüftgelenke in 51 Patienten in die Studie eingeschlossen werden. 15 (28,3%) der Patienten waren männlich, 38 (71,7%) weiblich. Das mittlere Patientenalter zum Operationszeitpunkt betrug 64,6 Jahre (Range 28-85). Der durchschnittliche BMI betrug 28 kg/m<sup>2</sup> (Range 18-42). 49 der durchgeführten Operationen waren einzeitig aseptische Pfannenwechsel. In vier Fällen wurde ein Hüft-TEP Wiederaufbau im Rahmen eines zweizeitigen Vorgehens nach zuvor angelegter Girdlestone Hüfte bei periprotektischem Infekt durchgeführt. Das mittlere Follow-up betrug 10,2 Jahre (Range 7,2-12,5).

Wir verwendeten modulare Pfannen und Revisionspfannen sowie Augmente des bereits zuvor beschriebenen Implantattyps in Verbindung mit einem dafür vorgesehenen Inlay aus Polyethylen.

#### 4.2 Chirurgische Technik

Alle Operationen wurden in Rückenlage über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugang durchgeführt [24]. Bei allen Patienten erfolgte die Gabe einer perioperativen Antibiotikaprophylaxe. Der Gelenkzugang erfolgt bei der verwendeten Technik über das Muskelintervall zwischen Musculus gluteus medius und Musculus tensor fasciae latae. Nach dem Gelenkzugang und der erforderlichen Exposition des Azetabulums wurde das in situ befindliche, zu revidierende Implantat vorsichtig und knochensparend entfernt. Während der Exposition und der Implantatentfer-

nung wurden Proben für die mikrobiologische Untersuchung gewonnen. Verbleibende Unebenheiten und insbesondere periprotehetische Membranen wurden nach der Explantation der Komponenten entfernt. Daraufhin wurden entweder eine dafür vorgesehene Probepfanne oder eine hemisphärische Pfannenfräse ebenso wie ein dafür vorgesehenes Augment zur Bestimmung der optimalen Platzierung der Implantate und deren Größe eingebracht. Die Position der Probeimplantate wurde wie üblich mittels intraoperativer radiologischer Bildgebung mit einem Bildverstärker überprüft. In allen Fällen wurde bei der Revisionsoperation allogene, lyophilisierte Spongiosa zur Augmentation des Pfannenbodens verwendet. Diese wurde unter Zuhilfenahme einer rückwärtsdrehenden Fräse vorsichtig impaktiert. Sofern der azetabuläre Defekt eine anatomische Positionierung der Pfanne zuließ, wurde eine modulare Pfanne als Revisionsimplantat gewählt. Sofern der Defekt eine nicht anatomische Positionierung der Pfanne erforderlich machte, wurde eine Revisionspfanne gewählt. Die hierbei zu berücksichtigende Anatomie betrifft die Orientierung, sprich die Inklination und Anteversion des nativen Azetabulums. Relevant ist dies unter anderem zur Vermeidung eines Überstands des azetabulären Implantats. Der Unterschied der oben genannten Implantate besteht im Fixationsmechanismus des Inlays. Bei beiden Inlays handelt es sich um Inlays aus Polyethylen. Die modulare Pfanne erfordert durch das Vorhandensein eines Schnapp-Mechanismus eine zur Position der Pfanne identische Orientierung des Inlays. Im Gegensatz dazu wird bei der Revisionspfanne das Inlay in die Pfanne hinein zementiert. Der Vorteil dieser Möglichkeit besteht darin, dass die Orientierung des Inlays deutlich unabhängiger von der Position der Pfanne gewählt werden kann. Die Positionierung der Pfanne kann somit besser an den vorliegenden knöchernen azetabulären Defekt angepasst werden, um eine möglichst große knöcherne Abstützung durch den Wirtsknochen zu erreichen, ohne ein erhöhtes Luxationsrisiko in Kauf nehmen zu müssen. Daraufhin wurde das Augment in der zuvor festgelegten Position eingebracht und verschraubt. Die Schraubenfixierung des Augments erfolgte, wenn möglich, in Richtung des nach kranial gerichteten Vektors der Krafteinleitung in das Os ilium. Das Pfannen- und Augment Interface wurde wie durch den Hersteller vorgegeben mittels Polymethylmethacrylat Zement augmentiert. Daraufhin erfolgte die Implantation und Schraubenaugmentation der definitiven Pfanne in der zuvor festgelegten Position. Die Schraubenplatzierung erfolgte ebenfalls nach kranial und wenn dies intraoperativ als notwendig erachtet wurde zusätzlich nach kaudal und dorsal. Ein Minimum von 60% Implantatkontaktfläche mit dem Wirtsknochen wurde für die Implantation festgelegt.

Das Einbringen von additiven Schraubenlöchern durch die Pfanne erfolgte, wenn dies seitens des Chirurgen als notwendig erachtet wurde. In einem Fall wurde ein zusätzliches Schraubenloch

durch das Augment angelegt. Dies ist als Off-label use zu betrachten und sollte nach Möglichkeit aus Gründen der Stabilität des Augments vermieden werden.

Die durchschnittliche Anzahl an Schrauben, welche zur Fixierung von Pfanne und Augment verwendet wurde, betrug 2,5 (Range 1-4). Die mittlere implantierte Pfannengröße betrug 54 mm (Range 46-70). Die am häufigsten verwendeten Höhen des Augments waren 10 mm (Range 10-30 mm) in 24 Fällen (45%) und 15 mm in sieben Fällen (13%). Die am häufigsten verwendeten Durchmesser des Augments waren 50 mm in 20 Fällen (38%), 54 mm in 13 Fällen (25%) und 58 mm in zehn Fällen (19%).

Die postoperative Mobilisation erfolgte wie üblich nach Revisionsoperationen am Hüftgelenk unter Vermeidung von Beugung über 90°, Adduktions- und Außenrotationsbewegungen zur Prophylaxe einer Luxation. Bei allen Patienten wurde identisch mit einer Teilbelastung von zunächst 15 kg der operierten Seite für sechs Wochen begonnen. Nach klinischer und radiologischer Kontrolle der Implantatlage und der knöchernen Konsolidierung konnte in aller Regel der Übergang in die schmerzadaptierte Vollbelastung vollzogen werden.

#### 4.3 Radiologische Auswertung

Alle prä- und postoperativ verfügbaren bildgebenden Verfahren wurden durch drei der Autoren ausgewertet und hinsichtlich der Paprosky Klassifikation klassifiziert [25].

Drei (5,2%) Patienten wiesen einen Paprosky IIA Defekt auf, 13 (24,5%) einen IIB, sechs (11,3%) einen IIC Defekt. 22 acetabuläre Defekte wurden als Paprosky Typ IIIA (41,5%) und neun (17%) als IIIB Defekte klassifiziert. In fünf Fällen (9,4%) lag eine Beckendiskontinuität vor. Im Follow-up wurden radiologische Zeichen der Osteointegration zwischen Wirtsknochen und Augment anhand der Kriterien von Moore [26] evaluiert und wie folgt notiert: (1) Abwesenheit von radiolucent lines, (2) superolateral buttress, (3) presence of medial stressshielding, (4) presence of radial trabeculae, (5) presence of inferomedial buttress. Ebenso wurden das Vorhandensein oder Fehlen von radiolucent lines im Interface zwischen Pfanne und host bone notiert.

#### 4.4 Statistische Auswertung

Die Mittelwerte und Standardabweichungen wurden für die zuvor definierten demografischen Variablen errechnet. Die Angaben zu kategorialen Variablen wurden in Prozent gemacht. Das Signifikanzlevel wurde mit  $p < 0,05$  definiert und mittels Mann-Whitney U Test geprüft. Die kumulative

Wahrscheinlichkeit des revisionsfreien Implantatüberlebens im Follow-up wurde mittels einer Kaplan-Meier Analyse und grafischer Darstellung untersucht. Alle statistischen Analysen wurden mit SPSS 24 (IBM Corp., Armonk, New York) durchgeführt.

## 5 Ergebnisse

In der vorliegenden Studie konnte eine revisionsfreie Implantatüberlebensrate von 92,5% nach zehn Jahren nachgewiesen werden. Die allgemeine Revisionsrate, welche alle durchgeführten Revisionsoperationen ungeachtet der Revisionsindikation berücksichtigte, betrug 9,4 % (fünf von 53). Die Rate an Revisionen, welche aufgrund einer aseptischen Lockerung der azetabulären Implantate durchgeführt werden mussten, betrug 5,6 % (drei von 53). Insgesamt bestand in fünf Fällen der untersuchten Kohorte die Notwendigkeit einer Re-Revisionsoperation. In drei Fällen (5,2%) war aufgrund einer gegebenen sehr guten Primärstabilität keine Schraubenfixierung der Pfanne durchgeführt worden.

Alle in dieser Kohorte implantierten azetabulären Augmente wurden mittels Schrauben fixiert. In 26 Fällen (49%) wurden eine oder mehrere Schrauben gleichzeitig durch die Pfanne und das Augment gesetzt. Das Implantatversagen bei zwei der Patienten war auf eine aseptische Lockerung der Pfanne bei vorliegendem Paprosky IIIA Defekt zurückzuführen. Eine Schraubenfixation der Pfanne war in beiden genannten Fällen im Rahmen der initialen Revisionsoperation nicht erforderlich gewesen. Ein Patient zeigte eine aseptische Pfannenlockerung bei bestehendem Paprosky IIIB Defekt. Im Rahmen der Revisionsoperation war es rückblickend zu einer Unterschätzung des Defektes gekommen, da sich zusätzlich zu dem beschriebenen Paprosky IIIB Defekt eine Beckendiskontinuität zeigte. In einem weiteren Fall bestand neben einer Beckendiskontinuität ein periprotetischer Infekt, welcher die Hüft-TEP Explantation im Sinne eines zweizeitigen Vorgehens erforderlich machte. Eine Revisionsoperation wurde bei prolongierter Wundsekretion erforderlich. Es erfolgte die Spülung und Hämatomausräumung während des stationären Verlaufes. Eine Revision der azetabulären Komponenten war nicht erforderlich.

Eine detaillierte Übersicht der Fälle, in denen ein Implantatversagen eine Re-Revisionsoperation erforderlich machte, wurde für die Publikation erarbeitet und wird in Anbetracht der umfassenden Informationen in der folgenden Tabelle vollständig zitiert.

**TABLE III. Overview of patients with failed acetabular construct and chosen re-revision strategy [27]**

	Age	Sex	TM Modular vs. Revision	Indication for Re-Revision	Cause of Implant failure	Time to Re-Revision	Paprosky Classification	Pelvic Discontinuity	Revision Strategy
Patient I	57	Male	Mod. 56 mm	Shell Dislocation	No screw fixation of the shell	4 Days	IIIA	No	Augment stable Cemented PE-Shell
Patient II	50	Female	Rev. 52 mm	Shell Loosening	Failed "flying buttress"; No screw fixation of the shell	18 Months	IIIA	No	Augment stable Screw augmented TM Revision
Patient III	72	Female	Mod. 50 mm	Shell Loosening	Pelvic discontinuity misdiagnosis	24 Months	IIIB	Yes	Revision Ring + Augment
Patient IV	40	Female	Mod. 56 mm	Shell Loosening + PJI	Septic component loosening	36 Months	IIIB	Yes	Two-Stage Revision Revision Ring + Augment

Nach der Klassifikation von Moore [26] zeigten die Röntgenaufnahmen der nachuntersuchten Patienten fünf Zeichen der Osteointegration bei vier Patienten (7,5 %), vier Zeichen in 29 Fällen (54,7 %), drei Zeichen in 15 Fällen (28,3 %) und zwei Zeichen in fünf Patienten (9,5 %). Der mittlere Harris Hip Score betrug präoperativ 55 Punkte (Range 35-68) und stieg auf 81 Punkte (Range 68-99) im Follow-up ( $p < 0,001$ ).

## 6 Darstellung des Forschungsstandes und Diskussion

Eine der maßgeblichen Anforderungen an den endoprothetischen Gelenkersatz ist zweifelsfrei eine möglichst sichere und langfristige Versorgung darzustellen. Dies gilt sowohl für den Sektor der Primär- als auch der Revisionsendoprothetik.

Im Laufe der vergangenen Jahrzehnte hat die klinische Forschung in der Orthopädie und Unfallchirurgie Ergebnisse zu unterschiedlichen Versorgungsmöglichkeiten in der Revisionsendoprothetik geliefert. Diese Untersuchungen berücksichtigen sowohl die unterschiedlichen Strategien der Revisionsoperation als auch die verwendeten Materialien, die naturgemäß eine möglichst lange Haltbarkeit und hohe Biokompatibilität aufweisen sollen. Ein wesentlicher Faktor, welcher die Aussagekraft der Studien maßgeblich bedingt, ist die Dauer des Follow-up. Der Forschungsstand zu einigen Versorgungsalternativen im Falle eines azetabulären Implantatversagens, welche in der Literatur analysiert und bewertet werden, wurde bereits in den vorangegangenen Abschnitten anteilig aufgeführt.

### 6.1 Grundlagen

Die in der Literatur vorgenommene wissenschaftliche Aufarbeitung von Patienten, welche sich einer Wechseloperation am Hüftgelenk unterziehen mussten, umfasst mehrere Aspekte.

Eine grundlegende und wegweisende Einteilung erfolgt bereits bei der Frage nach dem Grund des Versagens der in situ befindlichen Endoprothese. Neben einem Versagen der einzelnen Komponenten wie Pfanne, Schaft und Gleitpaarung, besteht Möglichkeit einer Kombination von Versagensgründen des Implantats. Akut eingetretene Traumafolgen mit periprothetischen Frakturen spielen ebenso eine Rolle wie die atraumatische Implantatlockerung, der Verschleiß der Gleitpaarung sowie periprothetische Infektionen.

Eine dezidierte Versagensanalyse mittels angepasster Diagnostik ist notwendig und bedingt die Wahl der Revisionsstrategie.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit einer speziellen Revisionsstrategie zur Defektrekonstruktion bei knöchernen Defekten des Azetabulums. Eine Berücksichtigung der Schaftkomponente erfolgte nur nachrangig. Die Auswertung der Literatur und Darstellung des Forschungsstandes erfolgte im Hinblick auf vergleichbare Studien.

## 6.2 Parameter und Klassifikationen

Die international gängige Klassifikation knöcherner azetabulärer Defekte erfolgt nach der von Paprosky [25] etablierten Definition. Die Klassifikation kann am konventionell-radiologischen Bild vorgenommen und um schnittbildgebende Verfahren oder intraoperative Erkenntnisse ergänzt werden.

Anhand der Klassifikation lassen sich das Ausmaß des Knochendefektes und die Lokalisation im Azetabulum nachvollziehen. Eine nicht von der Paprosky Klassifikation erfasste, jedoch relevante Information ist jene, ob der Knochenverlust mit einer Unterbrechung der Kontinuität des knöchernen Beckens, welche Beckendiskontinuität genannt wird, einhergeht. Aus diesem Grunde ist neben der Klassifikation nach Paprosky in dieser Arbeit das Vorhandensein oder die Abwesenheit einer Beckendiskontinuität separat dokumentiert. Neben der Klassifikation des knöchernen Defektes spielt die Erfassung der Funktionalität ebenso eine wichtige Rolle, sind es doch der Funktionsverlust und bestehende Schmerzen, welche den Patienten in aller Regel einen Arzt aufsuchen lassen. Die Einteilung der Funktion erfolgt in dieser Studie anhand des Harris Hip Scores (HHS) [28]. Neben weiteren in der internationalen Fachliteratur verwendeten Scores wie zum Beispiel dem Mayo Hip Score [29] und dem WOMAC Score [30] ist dies ein gängiges Mittel der Erfassung.

Der HHS wird anhand eines Fragebogens erhoben und zielt vorwiegend auf die Einschätzung der alltäglichen Belastbarkeit in Anbetracht von hüftgelenksassoziierten Beschwerden ab. Die Leistungsfähigkeit des Patienten ist nicht maßgeblich für die Erhebung des Scores, sodass er ein brei-



tes Anwendungsspektrum findet. Bei sehr belastbaren Patienten, vorwiegend jungen und sportlich aktiven, stößt der Score jedoch an die Grenzen seiner Trennschärfe, da eher basale Aktivitäten abgefragt werden. Da der HHS eine Untersuchung der Gelenkbeweglichkeit (Range of Motion) anhand der Neutral-Null-Methode und die Erfassung eventuell vorliegender Kontrakturen oder Beinlängendifferenzen beinhaltet, kann der Fragebogen nicht abschließend selbstständig durch den Patienten oder Probanden ausgefüllt werden. Die vollständige Durchführung des Tests nimmt in etwa 15 Minuten in Anspruch. Die im Anschluss erforderliche Zeit zur Auswertung ist nicht mit einberechnet. Für die einzelnen Kategorien werden Punktwerte vergeben und addiert. Die höchste zu erzielende Punktzahl ist 100, die niedrigste 0 Punkte. Punktwerte zwischen 90-100 werden als sehr gutes Ergebnis angesehen, Werte zwischen 80-89 Punkte als gutes Ergebnis. Als durchschnittlich anzusehendes Ergebnis gelten Werte zwischen 70-79 Punkten. Sofern ein Punktwert < 70 Punkte erzielt wird, gilt dies als schlechter Funktionsstatus.

Die Beurteilung der ossären Integration der Implantate ist anhand der von Moore publizierten Kriterien erfolgt. Diese erlauben anhand einer konventionell radiologischen Bildgebung die Wahrscheinlichkeit einer festen knöchernen Integration der azetabulären Komponente abzuschätzen.

### 6.3 Diskussion

In der internationalen Fachliteratur existieren bisher nur wenige Publikationen, welche ein mittel- oder langfristiges Follow-up einer Patientenkohorte liefern, die ausschließlich mit einer Kombination aus TM Pfanne und Augment versorgt wurde.

Im Vergleich mit den bereits publizierten Ergebnissen handelt es sich bei dem vorliegenden Manuskript um die weltweit zweitgrößte Patientenkohorte mit dem zweitlängsten Follow-up. Die Studien aus den Arbeitsgruppen von Jenkins [22] und Whitehouse [23] sind bezüglich der Patientenanzahl und der Länge des Follow-up mit dieser Kohorte vergleichbar. Beide erbrachten gute bis sehr gute Ergebnisse für das Implantatüberleben sowie eine anhaltende Verbesserung in den Funktionsscores, wie sie auch in der vorliegenden Arbeit erbracht werden konnten.

Die Publikation der amerikanischen Arbeitsgruppe um Jenkins [22], welche gleichzeitig die bisher größte publizierte Fallzahl beinhaltet, konnte in einer Studienkohorte von insgesamt 58 betroffenen Hüftgelenken ein Langzeit-Implantatüberleben (Zehn-Jahres-Überleben) von 97% bei einer 3%igen Revisionsrate aufgrund einer aseptischen Lockerung der azetabulären Komponenten berichten. Die kanadische Arbeitsgruppe um Whitehouse [23] veröffentlichte ebenfalls Zehn-Jahres Follow-up Studienergebnisse einer Kohorte, welche insgesamt 40 Patienten umfasste. Das in diesem Fall als Endpunkt definierte Überleben des implantierten Augments betrug 92%. Die berichtete Revisionsrate aufgrund einer aseptischen Lockerung der azetabulären Implantate betrug in

dieser Gruppe 7,5%. Das als Endpunkt definierte Überleben des Augments in dieser Studie erschien uns unter dem klinischen Aspekt als nicht sinnvoll, da im Falle eines Versagens der Pfanne, ungeachtet dessen, ob sich das Augment stabil zeigte, eine erneute Revisionsoperation erforderlich ist. Vor diesem Hintergrund wählten wir als Endpunkt das Überleben aller implantierten azetabulären Komponenten.

Eine weitere Rekonstruktionsmöglichkeit ist mit der Verwendung von Jumbo-cups gegeben [31, 32, 16]. Dieses Verfahren erbrachte gute bis sehr gute Ergebnisse. Das Implantatüberleben wird in der aktuellen Literatur mit 92% bis 96% im 14- bis 16-Jahres Follow-up angegeben [33, 32, 34]. Einen limitierenden Faktor der Versorgung mittels Jumbo-cup stellt die Größe des Azetabulums dar. Hier ist insbesondere der antero-posteriore Durchmesser des Azetabulums zu nennen. Überschreitet die gewählte Pfanne die anteriore knöcherne Begrenzung des Azetabulums, kann es zu einem Impingement der Sehne des Musculus psoas major kommen [16]. Dies ist aufgrund der ununterbrochenen mechanischen Irritation mit starken Schmerzen verbunden, welche bei Beugewegung im betroffenen Hüftgelenk oder dem gestreckten Anheben des Beines zunehmen. Hieraus ergibt sich in vielen Fällen die Notwendigkeit einer operativen Revision. Ein insuffizienter knöcherner Hinterrand des Azetabulums führt zu einer unzureichenden Befestigungsmöglichkeit des Implantats und dadurch vermehrt zu einem Implantaversagen. Ein bereits zuvor angeführter wichtiger Aspekt der Revisionsoperation ist die Beachtung des Rotationszentrums des Hüftgelenkes [35]. In der vor der Operation durchgeführten Planung der Prothesenpositionierung und -größe findet dieses neben weiteren Eckpunkten wie der Rekonstruktion des Offsets aus funktionellen Gründen besondere Beachtung. Die Arbeitsgruppe um Delp [15] diskutiert, dass trotz einer kranialisiert gewählten Pfannenposition mittels ausreichend groß gewählter Halslänge des implantierten Kopfes eine gute Abduktionsfunktion der pelvitrochantären Muskulatur und eine ausgeglichene Beinlänge erreicht werden kann. Dies ist eine Strategie, welche in unserer Klinik kaum zur Anwendung kommt, da die dadurch eingeschränkte Kompensationsmöglichkeit ebenso wie die maßgeblich erhöhte Belastung auf die Konusverbindung zwischen Kopf und Hals des Schaftes mit dementsprechend höherem Verschleiß und Materialabrieb in unseren Augen relevante Nachteile darstellen. Eine Kranialisation des Drehzentrums ist zumeist mit einer Lateralisation verbunden, dies beinhaltet ebenso biomechanische Nachteile und kann zu einer persistierenden pelvitrochantären Insuffizienz mit hinkendem Gangbild und Schmerzen führen.

Strukturierte Allografts können zur Rekonstruktion des Drehzentrums des Gelenkes verwendet werden. Sofern ein medialer knöcherner azetabulärer Defekt besteht, kann ein strukturiertes Allograft in Kombination mit einem sogenannten ‚Mesh‘ in Form eines Titannetzes [36] verwendet

werden. Sollte das Allograft jedoch mehr als 50% der Pfanne abstützen oder in der Hauptbelastungszone platziert werden wie es bei größeren Defekten häufig der Fall ist, haben sich in der Literatur lediglich Implantatüberlebensraten von 55% im Sieben-Jahres Follow-up gezeigt [37].

Eine direkte Vergleichbarkeit des funktionellen Outcomes ist nur mit der Arbeit der jüngst erschienenen Publikation von Eachempati [38] gegeben, in der ebenfalls der HHS verwendet wurde. Hier konnte eine Verbesserung des Scores von prä- zu postoperativ von 25,6 auf 87,1 Punkte berichtet werden. Im Vergleich hierzu zeigte sich in unserer Analyse eine Verbesserung des Scores von 55 auf 81 Punkte.

Jenkins [22] verwendete zur Quantifizierung des klinischen Outcomes den Mayo Hip Score. Whitehouse [23] nutzte hierzu den WOMAC Score. Eine direkte Vergleichbarkeit der Arbeiten bezüglich des funktionellen Outcomes ist aus diesem Grund bis auf die erstgenannte Publikation nicht möglich. Ungeachtet dessen dokumentierten die beiden zuletzt genannten Arbeiten ebenso eine signifikante und anhaltende Verbesserung der Funktionsscores wie sie auch in unserer Auswertung aufgezeigt werden konnte.

## 7 Klinische Anwendung

Jenkins [22] empfiehlt in jedem Fall eine Schraubenfixation von Pfanne und Augment vorzunehmen. Angesichts der Analyse der Implantatversager unserer Kohorte schließen wir uns dieser Empfehlung uneingeschränkt an. Im Ergebnisteil der Publikation führten wir eine detaillierte Versagensanalyse auf, da diesem Aspekt unserer Auffassung nach ein hoher Stellenwert zukommt. In drei Fällen kam es zu einer aseptischen Implantatlockerung, welche eine erneute Revisionsoperation erforderlich machte. In zwei dieser Fälle war bei der initialen Revision keine Schraubenfixation der Pfanne, wohl aber des Augments vorgenommen worden. In beiden Fällen war der Grund des Implantatversagens auf eine Pfannenlockerung beziehungsweise Dislokation zurückzuführen. Jenkins [22] beschreibt in seiner Publikation, dass eine Versorgung mittels TM Pfanne und Augment auch im Falle einer bestehen chronischen Beckendiskontinuität erfolgen kann. Insgesamt wiesen 19% der versorgten Patienten in dieser Kohorte eine Beckendiskontinuität auf. Im Vergleich hierzu zeigte sich lediglich bei 9,4% der Patienten in der von uns untersuchten Studienpopulation eine chronische Beckendiskontinuität. In Anbetracht eines statistisch nicht signifikanten, aber zumindest klinisch bemerkenswerten Trends von zwei Fällen mit Implantatversagen (von insgesamt vier) bei denen sich ebenfalls eine Beckendiskontinuität zeigte (die Gesamtanzahl der Patienten mit Beckendiskontinuität in dieser Kohorte betrug fünf), befürworten wir im Falle einer chronischen Beckendiskontinuität andere Versorgungsstrategien in Betracht zu ziehen.

Anhand der Studie konnten wir ein sehr gutes revisionsfreies Implantatüberleben und hervorragendes klinisches Outcome im Langzeit Follow-up von zehn Jahren nach der Versorgung mittels TM Pfanne und Augment nachweisen. Wir konnten zeigen, dass die Verwendung dieser Implantatkombination eine sichere und langlebige Revisionsstrategie bei knöchernen azetabulären Defekten ist. Die vorliegende Arbeit festigt die Ergebnisse der bisher publizierten internationalen Studien.

Die beste Indikation der beschriebenen Revisionsstrategie mittels TM Pfanne und Augment sind Paprosky Typ III Defekte. Eine Schraubenfixation von Pfanne und Augment Pfanne sollte auch bei gegebener exzellenter Primärstabilität in jedem Fall vorgenommen werden.

Bei der Versorgung von chronischen Beckendiskontinuitäten scheint die in dieser Arbeit untersuchte Revisionsstrategie an ihre Grenzen zu stoßen. Das weitere Follow-up dieser Patientenkohorte bleibt interessant.

## 8 Zukünftige wissenschaftliche Fragestellungen

In den vergangenen Jahren rückten periprotektische Low-grade Infektionen mehr und mehr in den Fokus der orthopädisch-unfallchirurgischen Forschung. Diese werden in Zusammenhang mit implantatassoziierten Schmerzen und Implantatversagen nach endoprothetischer oder osteosynthetischer Versorgung gebracht. Die laborchemischen Parameter (Leukozytenzahl und C-reaktives Protein) sowie die mikrobiologische Untersuchung eines Gelenkpunktats weisen im Falle von Low-grade Infektionen eine niedrigere Sensitivität auf [39].

Die Entnahme einer festgelegten Anzahl mikrobiologischer und pathologischer Proben ist seit langem Bestandteil des Standards bei endoprothetischen Revisionsoperationen in unserer Klinik. Neben der bereits angesprochenen präoperativen Infektionsdiagnostik erfolgt somit eine intraoperative Verifizierung der präoperativen Diagnostik. Die bei der Revisionsoperation explantierten Komponenten werden seit einigen Jahren mittels Sonikation untersucht. Eine verbesserte Infektionsdiagnostik ergibt sich durch dieses Verfahren dank der Gewinnung eines potenziell vorliegenden Biofilms auf den Implantaten. Dieser kann durch die ultraschall-vermittelte Ablösung kultiviert werden kann. Hieraus ergibt sich eine zuverlässigere Diagnostik periprotektischer Infektionen [40]. Dieses Verfahren stand für den Zeitraum der in dieser Kohorte durchgeführten Revisionsoperationen noch nicht im klinischen Alltag zur Verfügung.

Eine interessante Fragestellung für die Zukunft ist die Untersuchung der Auswirkungen einer verbesserten perioperativen Infektionsdiagnostik auf das Langzeit-Implantatüberleben nach erfolgter Revisionsendoprothetik.

## Literaturverzeichnis

1. Breivik H, Collett B, Ventafridda V, Cohen R, Gallacher D (2006) Survey of chronic pain in Europe: prevalence, impact on daily life, and treatment. *European journal of pain* (London, England) 10:287-333. DOI 10.1016/j.ejpain.2005.06.009
2. Kurtz SM, Lau E, Ong K, Zhao K, Kelly M, Bozic KJ (2009) Future young patient demand for primary and revision joint replacement: national projections from 2010 to 2030. *Clin Orthop Relat Res* 467:2606-2612. DOI 10.1007/s11999-009-0834-6
3. Haynes JA, Stambough JB, Sassoon AA, Johnson SR, Clohisy JC, Nunley RM (2016) Contemporary Surgical Indications and Referral Trends in Revision Total Hip Arthroplasty: A 10-Year Review. *J Arthroplasty* 31:622-625. DOI 10.1016/j.arth.2015.09.026
4. Gallo J, Goodman SB, Konttinen YT, Raska M (2013) Particle disease: biologic mechanisms of periprosthetic osteolysis in total hip arthroplasty. *Innate immunity* 19:213-224. DOI 10.1177/1753425912451779
5. Devane PA, Horne JG, Ashmore A, Mutimer J, Kim W, Stanley J (2017) Highly Cross-Linked Polyethylene Reduces Wear and Revision Rates in Total Hip Arthroplasty: A 10-Year Double-Blinded Randomized Controlled Trial. *J Bone Joint Surg Am* 99:1703-1714. DOI 10.2106/jbjs.16.00878
6. Biedermann R, Tonin A, Krismer M, Rachbauer F, Eibl G, Stockl B (2005) Reducing the risk of dislocation after total hip arthroplasty: the effect of orientation of the acetabular component. *J Bone Joint Surg Br* 87:762-769. DOI 10.1302/0301-620X.87B6.14745
7. Osman K, Panagiotidou AP, Khan M, Blunn G, Haddad FS (2016) Corrosion at the head-neck interface of current designs of modular femoral components: essential questions and answers relating to corrosion in modular head-neck junctions. *The bone & joint journal* 98-b:579-584. DOI 10.1302/0301-620x.98b5.35592
8. Athanasou NA (2016) The pathobiology and pathology of aseptic implant failure. *Bone & joint research* 5:162-168. DOI 10.1302/2046-3758.55.BJR-2016-0086
9. Zimmerli W, Trampuz A, Ochsner PE (2004) Prosthetic-joint infections. *N Engl J Med* 351:1645-1654. DOI 10.1056/NEJMra040181
10. Volpin A, Konan S, Biz C, Tansey RJ, Haddad FS (2018) Reconstruction of failed acetabular component in the presence of severe acetabular bone loss: a systematic review. *Musculoskeletal surgery*. DOI 10.1007/s12306-018-0539-7
11. Faldini C, Stefanini N, Fenga D, Neonakis EM, Perna F, Mazzotti A, Pilla F, Triantafyllopoulos IK, Traina F (2018) How to prevent dislocation after revision total hip arthroplasty: a systematic review of the risk factors and a focus on treatment options. *Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology* 19:17-17. DOI 10.1186/s10195-018-0510-2
12. Templeton JE, Callaghan JJ, Goetz DD, Sullivan PM, Johnston RC (2001) Revision of a cemented acetabular component to a cementless acetabular component. A ten to fourteen-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am* 83-a:1706-1711
13. Shinar AA, Harris WH (1997) Bulk structural autogenous grafts and allografts for reconstruction of the acetabulum in total hip arthroplasty. Sixteen-year-average follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 79:159-168
14. Perka C, Ludwig R (2001) Reconstruction of segmental defects during revision procedures of the acetabulum with the Burch-Schneider anti-protrusio cage. *J Arthroplasty* 16:568-574. DOI 10.1054/arth.2001.23919
15. Delp SL, Wixson RL, Komattu AV, Kocmond JH (1996) How superior placement of the joint center in hip arthroplasty affects the abductor muscles. *Clin Orthop Relat Res*:137-146

16. von Roth P, Wassilew GI (2017) [The Use of Jumbo Cups in Revision Total Hip Arthroplasty]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*. DOI 10.1055/s-0043-108648
17. Abolghasemian M, Tangsaraporn S, Drexler M, Barbuto R, Backstein D, Safir O, Kuzyk P, Gross A (2014) The challenge of pelvic discontinuity: cup-cage reconstruction does better than conventional cages in mid-term. *The bone & joint journal* 96-b:195-200. DOI 10.1302/0301-620x.96b2.31907
18. Hipfl C, Janz V, Lochel J, Perka C, Wassilew GI (2018) Cup-cage reconstruction for severe acetabular bone loss and pelvic discontinuity. *The bone & joint journal* 100-b:1442-1448. DOI 10.1302/0301-620x.100b11.bjj-2018-0481.r1
19. Tantalum and Tantalum Compounds. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
20. Meneghini RM, Ford KS, McCollough CH, Hanssen AD, Lewallen DG (2010) Bone remodeling around porous metal cementless acetabular components. *J Arthroplasty* 25:741-747. DOI 10.1016/j.arth.2009.04.025
21. Bobyn JD, Stackpool GJ, Hacking SA, Tanzer M, Krygier JJ (1999) Characteristics of bone ingrowth and interface mechanics of a new porous tantalum biomaterial. *J Bone Joint Surg Br* 81:907-914
22. Jenkins DR, Odland AN, Sierra RJ, Hanssen AD, Lewallen DG (2017) Minimum Five-Year Outcomes with Porous Tantalum Acetabular Cup and Augment Construct in Complex Revision Total Hip Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 99:e49. DOI 10.2106/jbjs.16.00125
23. Whitehouse MR, Masri BA, Duncan CP, Garbuz DS (2015) Continued good results with modular trabecular metal augments for acetabular defects in hip arthroplasty at 7 to 11 years. *Clin Orthop Relat Res* 473:521-527. DOI 10.1007/s11999-014-3861-x
24. Rottinger H (2006) [The MIS anterolateral approach for THA]. *Orthopäde* 35:708, 710-715. DOI 10.1007/s00132-006-0962-6
25. Paprosky WG, Perona PG, Lawrence JM (1994) Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty. A 6-year follow-up evaluation. *J Arthroplasty* 9:33-44
26. Moore MS, McAuley JP, Young AM, Engh CA, Sr. (2006) Radiographic signs of osseointegration in porous-coated acetabular components. *Clin Orthop Relat Res* 444:176-183. DOI 10.1097/01.blo.0000201149.14078.50
27. Lochel J, Janz V, Hipfl C, Perka C, Wassilew GI (2019) Reconstruction of acetabular defects with porous tantalum shells and augments in revision total hip arthroplasty at ten-year follow-up. *The bone & joint journal* 101-b:311-316. DOI 10.1302/0301-620x.101b3.bjj-2018-0959.r1
28. Harris WH (1969) Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 51:737-755
29. Kavanagh BF, Fitzgerald RH, Jr. (1985) Clinical and roentgenographic assessment of total hip arthroplasty. A new hip score. *Clin Orthop Relat Res*:133-140
30. Bellamy N, Buchanan WW, Goldsmith CH, Campbell J, Stitt LW (1988) Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *The Journal of rheumatology* 15:1833-1840
31. Garbuz D, Morsi E, Gross AE (1996) Revision of the acetabular component of a total hip arthroplasty with a massive structural allograft. Study with a minimum five-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 78:693-697
32. Gustke KA, Levering MF, Miranda MA (2014) Use of jumbo cups for revision of acetabulae with large bony defects. *J Arthroplasty* 29:199-203. DOI 10.1016/j.arth.2012.11.010
33. Gustke KA (2004) Jumbo cup or high hip center: is bigger better? *J Arthroplasty* 19:120-123
34. Patel JV, Masonis JL, Bourne RB, Rorabeck CH (2003) The fate of cementless jumbo cups in revision hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 18:129-133. DOI 10.1054/arth.2003.5003

35. Paprosky WG, Magnus RE (1994) Principles of bone grafting in revision total hip arthroplasty. Acetabular technique. Clin Orthop Relat Res:147-155
36. García-Rey E, Madero R, García-Cimbrelo E (2015) THA Revisions Using Impaction Allografting With Mesh Is Durable for Medial but Not Lateral Acetabular Defects. Clinical Orthopaedics and Related Research 473:3882-3891. DOI 10.1007/s11999-015-4483-7
37. Hooten JP, Jr., Engh CA, Jr., Engh CA (1994) Failure of structural acetabular allografts in cementless revision hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Br 76:419-42
38. Eachempati KK, Malhotra R, Pichai S, Reddy AVG, Podhili Subramani AK, Gautam D, Bollavaram VR, Sheth NP (2018) Results of trabecular metal augments in Paprosky IIIA and IIIB defects. The bone & joint journal 100-b:903-908. DOI 10.1302/0301-620x.100b7.bjj-2017-1604.r1
39. Vasso M, Schiavone Panni A (2015) Low-grade periprosthetic knee infection: diagnosis and management. Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology 16:1-7. DOI 10.1007/s10195-014-0294-y
40. Rothenberg AC, Wilson AE, Hayes JP, O'Malley MJ, Klatt BA (2017) Sonication of Arthroplasty Implants Improves Accuracy of Periprosthetic Joint Infection Cultures. Clin Orthop Relat Res 475:1827-1836. DOI 10.1007/s11999-017-5315-8

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Jannis Löchel, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „The use of tantalum shells and augments in revision total hip arthroplasty for acetabular defect reconstruction – a ten-year follow-up study“, „Die Verwendung von Tantal Pfannen und Augmenten zur azetabulären Defektrekonstruktion in der Hüft-revisionsendoprothetik – eine 10-Jahres Follow-up Studie“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

---

Unterschrift



## Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

### Publikation

Autoren: Jannis Löchel, Viktor Janz, Christian Hipfl, Carsten Perka, Georgi I. Wassilew

Titel: Reconstruction of acetabular defects with porous tantalum shells and augments in revision total hip arthroplasty at ten-year follow-up

Fachzeitschrift: The Bone and Joint Journal, Februar 2019

### Beitrag im Einzelnen:

Die Konzeption der Studie wurde von mir entworfen. Die vorangegangenen relevanten Publikationen studierte ich ausführlich und konnte somit in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Georgi Wassilew das Studiendesign erstellen und die zu untersuchenden Parameter identifizieren. Das Studienkonzept und der erforderliche Antrag auf Beratung durch die Ethikkommission wurden von mir verfasst und bei der zuständigen Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin eingereicht. Während der Studienperiode wurden zunächst alle zum Einschluss in das Studienvorhaben geeigneten Patienten identifiziert und eine Studiendatenbank angelegt. Hierzu erfolgte eine Recherche in der klinikeigenen Datenbank, im digitalen Dokumentationssystem der Klinik (SAP) und eine Auswertung aller im Klinikarchiv verfügbaren Patientenunterlagen. Die Akquise der klinischen und funktionellen Daten wurde anteilig durch mich durchgeführt.

Die Auswertung aller Röntgenbilder und Defektklassifikation wurde durch mich angefertigt und durch die Koautoren Viktor Janz, Carsten Perka und Georgi Wassilew überprüft. Die Datenanalyse und Statistik wurde durch mich und die Interpretation in Zusammenarbeit mit dem Seniorautor Georgi Wassilew durchgeführt. Das Manuskript wurde von mir erstellt und von allen Koautoren korrigiert – die Korrekturen wurden vor der Einreichung durch mich eingefügt. Die finale Freigabe des Manuskripts wurde von mir und dem Seniorautor erteilt. Das Einreichen des Manuskripts im zuvor mit den Koautoren festgelegten Journal erfolgte durch mich. Gemeinsam mit dem Koautor Viktor Janz erfolgte die Überarbeitung des Manuskripts nach den Vorgaben der Reviewer. Die Studienergebnisse wurden von mir auf dem Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie in Berlin im Rahmen eines wissenschaftlichen Vortrages präsentiert.

Datum

---

Unterschrift

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2017** Selected Editions: SCIE,SSCI  
 Selected Categories: **"ORTHOPEDICS"** Selected Category Scheme: WoS  
**Gesamtanzahl: 77 Journale**

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE	32,251	6.057	0.041740
2	OSTEOARTHRITIS AND CARTILAGE	15,911	5.454	0.026630
3	JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY-AMERICAN VOLUME	46,966	4.583	0.044930
4	Journal of Physiotherapy	839	4.542	0.002390
5	ARTHROSCOPY-THE JOURNAL OF ARTHROSCOPIC AND RELATED SURGERY	15,568	4.330	0.020760
6	CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH	40,313	4.091	0.037880
7	Bone & Joint Journal	4,676	3.581	0.019010
8	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC RESEARCH	14,800	3.414	0.016570
9	JOURNAL OF ARTHROPLASTY	16,901	3.338	0.029760
10	KNEE SURGERY SPORTS TRAUMATOLOGY ARTHROSCOPY	14,017	3.210	0.026090
11	Spine Journal	8,564	3.119	0.019380
12	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY	6,612	3.090	0.006800
13	Acta Orthopaedica	8,583	3.076	0.008670
14	JOURNAL OF SHOULDER AND ELBOW SURGERY	12,263	2.849	0.017730
15	SPINE	46,984	2.792	0.035050
16	ORTHOPEDIC CLINICS OF NORTH AMERICA	3,140	2.672	0.003050
17	FOOT & ANKLE INTERNATIONAL	8,682	2.653	0.008190
18	Journal of Hand Surgery-European Volume	4,234	2.648	0.004220
19	JOURNAL OF THE AMERICAN ACADEMY OF ORTHOPAEDIC SURGEONS	5,082	2.638	0.007810
20	EUROPEAN SPINE JOURNAL	15,242	2.634	0.023050

Löchel J, Janz V, Hipfl C, Perka C, Wassilew GI

Reconstruction of acetabular defects with porous tantalum shells and augments in revision total hip arthroplasty at ten-year follow-up. Bone Joint J. 2019 Mar;101-B(3):311-316.

Link zum Dokument: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B3.BJJ-2018-0959.R1>

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## Publikationsliste

Publikationen von Jannis Löchel PubMed gelisteter Zeitschriften mit Peer-Review in chronologischer Reihenfolge (Stand März 2019)

Anzahl	2
Davon Erst- oder Letztautorenschaft	1
Summe Impact Faktoren	7,2
Durchschnittliche Impact Faktoren	3,6

1. **Löchel J**, Janz V, Hipfl C, Perka C, Wassilew GI

Reconstruction of acetabular defects with porous tantalum shells and augments in revision total hip arthroplasty at ten-year follow-up.

Bone Joint J. 2019 Mar;101-B(3):311-316.

IF: 3,6

2. Hipfl C, Janz V, **Löchel J**, Perka C, Wassilew GI.

Cup-cage reconstruction for severe acetabular bone loss and pelvic discontinuity.

Bone Joint J. 2018 Nov;100-B(11):1442-1448. doi: 10.1302/0301-620X.100B11.BJJ-2018-0481.R1.

IF: 3,6

## Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Carsten Perka, für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei meiner akademischen Ausbildung.

Bedanken möchte ich mich ebenso bei Herrn PD Dr. med. Viktor Janz für seine fortwährende und gewissenhafte Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Georgi Wassilew für seine Unterstützung sowohl bei der Erstellung dieser Arbeit als auch bei meiner klinischen und akademischen Ausbildung bedanken.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern und meiner Schwester Olivia für die uneingeschränkte Unterstützung und Geduld bedanken.

Euch ist diese Arbeit gewidmet.